

# Ist die Luft rein? – Emissionen aus lackierten Oberflächen in die Innenraumluft



**Ingo Mayer**

Dr. rer. nat, Baustoffemissionen und chemische Analytik  
Berner Fachhochschule, Architektur, Holz und Bau  
Biel, Schweiz

## Einleitung

In unseren Breiten halten wir uns durchschnittlich über 20 h pro Tag in geschlossenen Räumen auf, davon die meiste Zeit in den eigenen vier Wänden. Eine gesunde Raumluft sollte dabei eine Selbstverständlichkeit sein, da jeder Erwachsene davon täglich durchschnittlich zwischen 12 und 16 m<sup>3</sup> einatmet. Teilweise weist unsere Innenraumluft aber eine Vielzahl von unerwünschten Verunreinigungen auf (Moriske 2007, Salthammer und Uhde 2009). Die Gründe hierfür sind vielfältig.

Nutzerinnen und Nutzer der Räume beeinflussen durch ihr Verhalten und Nutzungsgewohnheiten die Eigenschaften der Innenraumluft (z.B. Kochen, Rauchen, Verwendung von Reinigungsmitteln, Duftlampen, „Luftverbesserer“). Einen besonders starken Einfluss auf die Raumluftqualität haben zudem das Lüftungsverhalten und der gegebene Luftwechsel. Vor dem Hintergrund von Energieeinsparung und der Vermeidung klimaschädlicher CO<sub>2</sub>-Emissionen hat sich die Bautechnik stark weiterentwickelt. Heutzutage ist die Erstellung von besonders energieschonenden Gebäuden möglich. Damit verbunden ist die Ausführung vergleichsweise diffusionsdichter Gebäudehüllen, bei denen der früher übliche „automatische“ Luftaustausch zwischen Innenraum- und Aussenluft aufgrund von Undichtigkeiten an Anschlüssen zwischen Fenster- und Türelementen und Mauerwerk entfällt. Wenn keine fachgerecht ausgelegte technische Anlage zum automatischen Luftaustausch installiert ist, kann dies einen ungenügenden Luftwechsel zur Folge haben. Dadurch kommt es zur Anreicherung von Luftverunreinigungen und zur Verschlechterung der

Raumluftqualität. Untersuchungen belegen, dass die durchschnittliche Luftaustauschrate der Innenraumluft in Räumen ohne Klimaanlage in der Praxis mit 0.1-0.4 h<sup>-1</sup> deutlich unter der allgemein empfohlenen Luftaustauschrate von 0.8 h<sup>-1</sup> liegt (Salthammer et al. 1995 a, b). Eine Folge des nicht ausreichenden Luftwechsels in Wohnräumen und Arbeitsräumen ist zudem die starke Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Raumluft, hervorgerufen durch Atmungsvorgänge der Bewohner bzw. Benutzer.

Auch Bauprodukte, aus denen ein Gebäude errichtet wurde und mit denen Innenräume ausgestattet sind, sind Quellen für Emissionen, die die Qualität der Raumluft beeinträchtigen und sogar die Gesundheit und das Wohlbefinden der Bewohner und Benutzer von Räumen nachteilig beeinflussen können (Dürkop et al. 2007). Bei Bauprodukten und Inneneinrichtungsgegenständen sind vor allem Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC, Volatile Organic Compounds) von Interesse, die aus synthetisch hergestellten aber auch aus natürlichen organischen Materialien entweichen. Organische Bauprodukte enthalten neben chemischen Grundbestandteilen zur Verbesserung der Produkteigenschaften meist flüchtige organische Hilfsstoffe, z.B. Lösungsvermittler, Lösungsmittel, Weichmacher, Flammschutzmittel etc.. Aber auch natürlich gewachsene organische Produkte wie Wachse, Öle und Holz enthalten VOC, so dass auch daraus hergestellte Bauprodukte nicht frei von unerwünschten Materialemissionen sind.

Vor allem grossflächig eingesetzte Bauprodukte und Inneneinrichtungsgegenstände, wie z.B. Böden, Wand- und Deckenverkleidungen, Türblätter und Möbel besitzen ein erhöhtes Potential, zur Belastung der Innenraumluft beizutragen. Lackierte Oberflä-

chen sind dabei von besonderem Interesse da die verwendeten Systeme in ihren Grundformulierungen eine Vielzahl flüchtiger Verbindungen enthalten, die zu den relevanten Emissionen gezählt werden müssen. Neben herkömmlichen Lösungsmittelhaltigen Lacksystemen beinhalten auch wasserbasierte oder UV-härtende Lacksysteme Inhaltsstoffe, die auch nach Aushärtung der Lackoberfläche als Emissionen in die Innenraumluft entweichen können.

## Flüchtige organische Verbindungen (VOC)

Die Konzentration flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) zählt zu den entscheidenden Parametern für die gesundheitliche Beurteilung der Raumluftqualität. Die VOC stellen eine Stoffgruppe von Luftverunreinigungen dar, die praktisch immer in der Innenraumluft anzutreffen sind. Aus chemischer Sicht beinhaltet der VOC-Bereich stark unterschiedliche Gruppen organischer Verbindungen wie z.B. Alkane, Aromaten, Terpene, Alkohole, Aldehyde, Ketone, Ester und Glykolether. Die VOC werden als Gruppe unterschiedlichster Verbindungen durch den Siedepunkt charakterisiert und von den leicht flüchtigen, schwer und nicht flüchtigen organischen Verbindungen unterschieden. Als flüchtige organische Verbindungen werden nach Konvention organisch-chemische Verbindungen des Siedepunktbereiches von 50-100°C bis 240-260°C bezeichnet (WHO 1989). In der analytischen Praxis werden die Grenzen zwischen den unterschiedlichen Gruppe anhand von Elutionsbereichen in der Gaschromatographie noch genauer definiert (ISO 16000-6).

trotz ihrer hohen Siedepunkte eine wichtige Rolle bei der Betrachtung von Bauproduktemissionen, da Formulierungen von Bauprodukten immer häufiger schwerflüchtige Substanzen beinhalten, die aus den Produkten während der Nutzungsphase ausgasen. Aufgrund ihrer höheren Siedepunkte verläuft die Emission im Vergleich zu VOCs im Innenraumklima jedoch stark zeitverzögert ab. SVOC-emittierende Bauprodukte können diese auch über den Zeitraum mehrerer Jahre oder sogar Jahrzehnte an die Innenraumluft abgeben, ohne dass die Emissionsraten massgeblich abnehmen. Der Vollständigkeit halber ist darauf hinzuweisen, dass neben flüchtigen organischen Verbindungen auch weitere Raumluftverunreinigungen anderer Form auftreten können, z.B. das radioaktive Edelgas Radon aus dem Zerfallsprozess der geogenen Urans, Stäube, Fasern (z.B. Asbest) und Verunreinigungen biologischen Ursprungs (z.B. Pilzsporen und Bakterien).

## Sensorische Wahrnehmung und gesundheitliche Beurteilung

Nur bei geruchsintensiven Ausgasungen können erhöhte Konzentrationen an VOC in Innenräumen durch die Nutzenden leicht festgestellt werden. Sensorische Prüfungen an Bauprodukten zeigen, dass die Wahrnehmung von Emissionen durch den menschlichen Geruchssinn stark von den Geruchswahrnehmungsschwellen der einzelnen VOC abhängt (Horn et al. 2007). Viele geruchsunauffällige Bauproduktemissionen bleiben also durch unsere Nasen unbemerkt, können sich aber mittel- oder langfristig dennoch nachteilig auf unsere Gesundheit

Beschreibung	Englische Abkürzung	Siedebereiche
Leichtflüchtige organische Verbindungen (Very Volatile Organic Compounds)	WOC	<0°C bis 50-100°C
Flüchtige organische Verbindungen (Volatile Organic Compounds)	VOC	50-100°C bis 240-260°C
Schwerflüchtige organische Verbindungen (Semi Volatile Organic Compounds)	SVOC	240-260°C bis 380-400°C

Tabelle 1: Klassifizierung flüchtiger organischer Innenraumluftemissionen (nach WHO1989)

Als TVOC (engl.: Total Volatile Organic Compounds) wird die Summe aller flüchtiger organischer Verbindungen innerhalb der VOC bezeichnet (d.h. alle Substanzen mit einem Siedepunktbereich zwischen 50-100°C bis 240-260°C bezeichnet. Der Parameter TVOC wird häufig verwendet, um die Gesamtbelastung in der Raumluft an flüchtigen organischen Verbindungen wiederzugeben. Auch die schwerflüchtigen organischen Verbindungen (SVOC) spielen

auswirken.

Auffällige Belastungen der Innenraumluft mit chemischen Substanzen werden in der breiten Öffentlichkeit zunehmend kritisch wahrgenommen. Dies ist einerseits auf die gestiegene Aufmerksamkeit der Bevölkerung hinsichtlich der Raumluftqualität, andererseits jedoch auch auf die steigende Anzahl von Allergikern und Personen mit Chemikalienunverträglichkeit (MCS, multiple chemical sensibility) zurückzuführen, die auf VOC-Emissionen reagieren.

Aufgrund der grossen Anzahl chemisch unterschiedlicher Substanzen innerhalb der VOC-Gruppe, ist es besonders schwierig, eine allgemeine gesundheitliche Beurteilung durchzuführen. Bisherige wissenschaftliche Studien beziehen sich in der Regel auf Einzelstoffe und meist auf hohe Konzentrationen dieser Stoffe, wie sie z.B. an Arbeitsplätzen im Bereich bestimmter Produktionsprozesse anzutreffen sind. Die im privaten Bereich oder in Innenräumen von z.B. Verwaltungsgebäuden anzutreffenden vergleichsweise geringen Konzentrationen an VOC werden bislang mit unspezifischen Beschwerden wie Reizungen des Bindegewebes und der Schleimhäute, Kopfschmerzen, Konzentrationsschwäche und Müdigkeit in Verbindung gebracht. Die gesundheitliche Betrachtung der VOC-Emissionen für den Innenraumbereich wird zudem durch die Tatsache erschwert, dass üblicherweise eine hohe Anzahl unterschiedlicher Einzelstoffe in einer „normalen“ Innenraumluft nachgewiesen werden kann (üblicherweise mehr als 50 unterschiedliche Stoffe in einer Raumluftprobe). Die chemische Beschaffenheit und mengenmässige Zusammensetzung dieser Stoffe ist jedoch stets unterschiedlich. Toxikologisch begründete Ergebnisse zur gesundheitlichen Beeinträchtigung durch die komplexen Stoffgemische in Innenräumen liegen aus diesem Grund in der Regel nicht vor. Dies bedeutet jedoch nicht, dass die Auswirkungen einer Exposition gegenüber üblichen Raumluftkonzentrationen an VOC zu vernachlässigen sind. Es gilt vielmehr der Grundsatz der Vermeidung bzw. Eingrenzung von Emissionen! Demnach sollte die Konzentration an VOC in der Innenraumluft mit wirtschaftlich vertretbaren Massnahmen auf ein technisch mögliches Mass reduziert werden.

### Wie werden Emissionsdaten von Bauprodukten ermittelt?

Zur Beurteilung der Emissionen aus Bauprodukten müssen die freigesetzten VOC unter wiederholbaren und definierten Bedingungen ermittelt werden können. Dies geschieht in Emissionsprüfkammern, deren Aufbau und Verwendung normativ geregelt sind (ISO 16000-9). Die Emissionsprüfung basiert auf der Platzierung einer Bauproduktprobe in dem von Reinluft durchströmten Prüfkammerraum, in dem sich die Bauproduktmissionen anreichern und gemessen werden können (Abbildung 1). Der Prüfkammerraum besteht aus inertem Material (üblicherweise Glas oder Edelstahl) mit Volumina zwischen 23 l und häufig 1 m<sup>3</sup> (Abbildung 2). Seltener werden Prüfkammern mit Volumina grösser als 20 m<sup>3</sup> eingesetzt, um gesamte Objekte, wie z.B. Fensterkonstruktionen als Ganzes prüfen zu können. Die Emissionsprüfkammern werden von einer hochreinen Luft mit definierten Eigenschaften (23°C, 50 % relative Luftfeuch-

tigkeit, definierte Reinheit) durchströmt, so dass ein kontinuierlicher Luftwechsel in den Prüfkammern stattfindet und die klimatischen Verhältnisse von Innenräumen definiert nachgestellt werden können. Zudem beinhaltet die Prüfkammer einen Lüfter oder Propeller, der eine definierte Luftgeschwindigkeit von 0.1-0.3 m/s auf der Prüfkörperoberfläche erzeugt.

In die Emissionsprüfkammer wird nun ein Prüfkörper des zu prüfenden Bauproduktes platziert und über einen Zeitraum von mindestens 28 Tagen in der Kammer belassen (Abbildung 3). Die aus dem Werkstoff entweichenden Emissionen reichern sich bauproduktabhängig bis zu einer gewissen Konzentration in der Prüfkammerluft an. Zu festgelegten Zeitpunkten (mindestens nach 72 h und 28 Tagen nach Start der Prüfung) werden Luftproben aus der Prüfkammerluft über spezielle Probenahmeröhrchen gesammelt und mit Hilfe aufwendiger gaschromatographischer Analytik ausgewertet (ISO 16000-6). Anhand dieser Methode können nicht nur einzelne VOC-Emissionen charakterisiert und quantifiziert, sondern auch flächenspezifische Emissionsraten einzelner VOC aus der Bauproduktoberfläche ermittelt werden. Dadurch ist bekannt, welche Mengen an einzelnen VOC aus einem Bauprodukt pro Flächeneinheit entweichen (unter den Bedingungen der Emissionsprüfkammern).

Lackprodukte werden zur Vorbereitung von Prüfkörpern auf einen nicht emittierenden Untergrund z.B. Glas- oder Aluminiumplatten aufgetragen und ausgehärtet. Erst nach der Aushärtung beginnt die Prüfung der Lackoberflächen in der Emissionsprüfkammer. Alternativ können Lacksysteme aber auch auf die in der Praxis eingesetzten Untergründe aufgetragen werden (z.B. ein Buntlack auf eine MDF-Trägerplatte), um das eigentliche Produkt prüfen zu können, für das der Lack in der Praxis eingesetzt wird (z.B. Möbelteil).

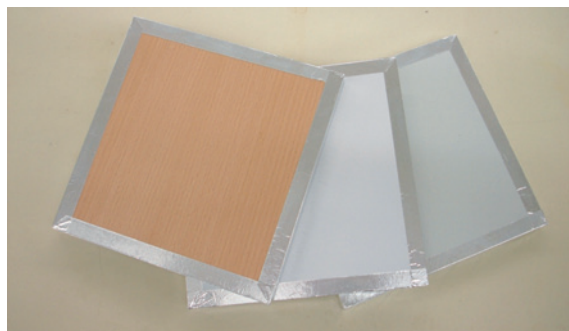


Abbildung 3: Vorbereitete Prüfkörper mit Lackoberflächen auf unterschiedlichen Trägerplatten zur Emissionsprüfung in einer 23 l-Kammer



Abbildung 2: Emissionsprüfkammern (rechts: 23 l-Kammern; links: 1 m<sup>3</sup>-Kammer)

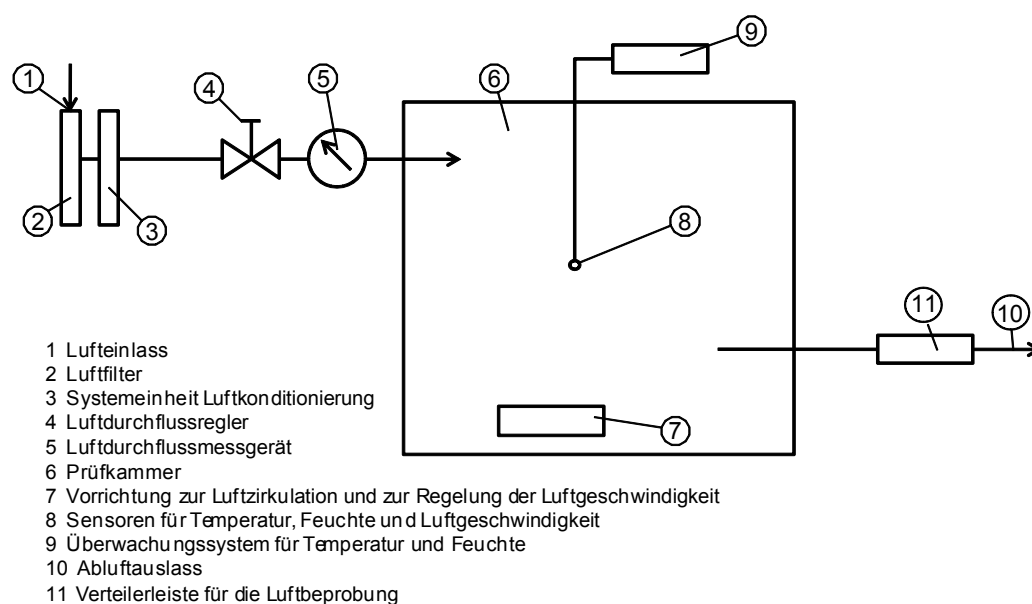


Abbildung 1: Schematischer Aufbau einer Emissionsprüfkammer

### Beurteilung von Emissionen und Kennzeichnung emissionsarmer Bauprodukte

Innerhalb Europas gibt es verstärkt Bestrebungen, die Ergebnisse von Emissionskammerprüfungen in das Zulassungsverfahren für Bauprodukte zu integrieren. So müssen z.B. in Deutschland zulassungspflichtige und innenraumrelevante Bauprodukte den Anforderungen des Ausschuss zur gesundheitlichen Beurteilung von Bauprodukten (AgBB) genügen. Hierfür hat der AgBB ein Schema veröffentlicht, in



welchem Emissionen an VOCs und SVOCs in einer Emissionskammerprüfung ermittelt werden und anschliessend eine Beurteilung anhand von Summenparametern und Einzelstoffen erfolgt (AgBB, 2010). Ähnliche Schemata sind in weiteren europäischen Ländern in Erarbeitung oder in die Zulassungspraxis bereits integriert („M1 classification“, Finnland; „DICScheme“, Dänemark; „AFSSET“, Frankreich). Neben diesen offiziellen Anforderungen bestehen unterschiedliche freiwillige Produktdeklarationen, welche die Einhaltung von Emissionsgrenzen zur Vergabe eines Produktzertifikates voraussetzen, z.B., RAL-GZ 430 für Möbel, RAL-UZ 38 für Holzwerkstoffe („Blauer Engel“) und natureplus® für unterschiedliche Bauprodukte. Die hierbei tolerierten TVOC-Emissionsgrenzwerte reichen von 300 µg/m<sup>3</sup> (RAL-UZ 38 für flächige Produkte, z.B. Deckenverkleidungen, natureplus® für Lacke und Lasuren für Holz), 600 µg/m<sup>3</sup> (RAL-GZ 430 für Möbel) bis zu 1000 µg/m<sup>3</sup> (AgBB), gemessen jeweils nach 28 Tagen Verweilzeit der Prüfkörper in der Emissionsprüfkammer. Die Zertifizierung einzelner Bauprodukte nach besonders emissionsarmen Kriterien erfreut sich wachsender Beliebtheit, denn ein Ausweis einzelner Bauprodukte als besonders emissionsarm wird zunehmend als wichtiges Kaufargument vom Kunden nachgefragt. Auch die Gesamtbelastung der Innenraumluft des resultierenden Gebäudes spielt eine immer wichtigere Rolle. So werden in Bauausschreibungen – bislang vor allem bei Bauherrschaft der öffentlichen Hand – zu erreichende TVOC-Grenzwerte in der Innenraumluft nach Baufertigstellung festgelegt und diese nach Baufertigstellung nachgeprüft. Unterschiedliche Zertifikate z.B. GI Gutes Innenraumklima® können zudem bei Erreichen einer emissionsarmen Raumluftqualität vergeben werden.

## VOC-Emissionen aus Lackoberflächen

Für den Bereich der Raumluftverunreinigungen besitzen lackierte Oberflächen eine erhebliche Bedeutung. Allein die Flächenbeladungsrate (Verhältnis der Oberfläche zum Raumvolumen) von beschichteten Oberflächen deckt in typischen Arbeitsumgebungen einen Bereich zwischen 0.5 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> bis 7 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> ab. Diese Beladungsrate ist meist deutlich höher als die von Boden- (≤ 0.5 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>) oder Wandflächen (ca. 1.0 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>).

Im Herstellungsprozess vieler Bauprodukte sind VOC (z.B. Lösemittel, Monomere) erforderlich und häufig unverzichtbare Bestandteile der Produktformulierungen. Dies gilt insbesondere für Paneel-, Möbel- und Parkettoberflächen, die üblicherweise mit VOC-haltigen Lacken geschützt und gestaltet sind. Der VOC-Anteil in Lackformulierungen wurde in den vergangenen 20 Jahren bereits erheblich reduziert,

indem lösemittelhaltige Systeme durch wasserverdünnbare Systeme oder durch UV-härtende und High solid-Lacke ersetzt wurden.

Diese Entwicklung beeinflusst allerdings vor allem die Emission von VOC zum Zeitpunkt der Applikation und während der Aushärtungsphase. Ein geringerer Anteil an VOC in der Formulierung bedeutet in der Regel auch geringere VOC-Emissionen unmittelbar nach dem Lackauftrag. Für Endverbraucher ist jedoch vor allem die anhaltende VOC-Emission aus ausgehärteten Lackoberflächen während des Gebrauchszeitraumes von Bedeutung. Bei allen Arten von Lacksystemen können solche langfristigen Emissionen auftreten.

Insbesondere zur Emission von VOC aus Möbelloberflächen liegen bereits Untersuchungsergebnisse vor. Gerade an Büroarbeitsplätzen mit einer hohen Raumbelegung resultiert ein hoher Anteil der VOC-Konzentration in der Raumluft aus den installierten Büromöbeln. Ein Teil dieser Emissionen wird von den eingesetzten plattenförmigen Holzwerkstoffen hervorgerufen, wobei das Ausgangsmaterial Holz, die bei der Produktion eingesetzten Leimsysteme und die verfahrenstechnischen Parameter der Holzwerkstoffproduktion emissionsrelevante Größen darstellen. Eine wesentlich grössere Bedeutung kommt jedoch der Oberflächenbeschichtung der Büromöbel zu. Fischer und Böhm (1994) belegen die Emission von 41 unterschiedlichen VOC aus Oberflächenbeschichtungen nach Auftrag unterschiedlicher Lacksysteme auf MDF-Platten (Mitteldichte Faserplatten). Salthammer (1997) identifizierte in einer umfangreichen Untersuchung insgesamt 150 einzelne VOC bei der Bestimmung von Emissionen industriell beschichteter Möbelloberflächen. Dabei konnten hauptsächlich aliphatische und aromatische Aldehyde, Ketone, aromatische Kohlenwasserstoffe, Glykole und Ester gefunden werden (TVOC-Gehalte in der Prüfkammerluft nach 28 Tagen, Höchstwerte bis ca. 1300 µg/m<sup>3</sup>). Weitere Untersuchungen wurden an Fussboden-, Bund- und Parkettlacken (Fussbodensiegel) durchgeführt (Horn et al. 2007). Die hier geprüften Produkte weisen TVOC-Emissionen zwischen 140 und 760 µg/m<sup>3</sup> auf. Die Ergebnisse der Studien belegen die Relevanz der Emissionen aus Lackoberflächen hinsichtlich der VOC-Belastung der Innenraumluft.

## Lösemittelbasierter Lacksysteme

Lösemittelbasierten Lacksystemen beinhalten meist Alkyd-Kunsthharze oder Polyurethan-Harze. Lösungsmittel sollen die Lösung der Harze bis zu Applikation gewährleisten und Eigenschaften des Lackes während der Applikation und der folgenden Filmbildung und Aushärtung einstellen. Häufig verwendete Lösungsmittel für die genannten Systeme sind aroma-

tische Kohlewasserstoffe (z.B. Toluol, Xylol), Ketone (z.B. Butanon), Ester (z.B. Essigsäure-Butylester) und Alkohole (z.B. Propanol, Butanol). Ein Kombination von bis zu 10 unterschiedlichen Lösungsmitteln ist nicht unüblich, da einige Lösungsmittel durch ihr schnelles Abdampfen ein übermässiges Fliesen des applizierten Lackfilms verhindern, andere aber durch ein vergleichsweise langsames Abdampfen die Filmbildung steuern sollen. Grundsätzlich können bei lösungsmittelbasierten Lacksystemen durch das Verdunsten der enthaltenen Lösungsmittel sehr hohe VOC-Emissionen direkt nach der Lackapplikation gemessen werden. Langfristig liegen die emittierten VOCs aber meist auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau. Allein bei Alkydharzen ist eine längerfristige Emission von Aldehyden (v.a. Hexanal) dokumentiert, die in Folge des oxidativen Trocknungsprozesses bei Alkydharzen auftreten (Brown 2000).

### Wasserverdünnbare Lacksysteme

Auch wasserverdünnbare Lacksysteme bringen emissionsrelevante Verbindungen mit sich. In solchen Systemen sind Lösungsmittel enthalten, die eine Lösung der enthaltenen Harze ermöglichen und die Filmbildung bei der Lacktrocknung steuern. Salthammer (1997) kann bei Untersuchungen an ausgehärteten Lackoberflächen wasserbasierter Systeme (Polyurethan, Polyesteracrylat) jeweils 5-10 einzelne Komponenten nachweisen, vor allem Glykole (v.a. Butylglykol) und Glykolether. Auch in Lacken, die sich durch besondere Umweltverträglichkeits-Zertifikate auszeichnen, darf ein bestimmter Anteil an Glykolverbindungen enthalten sein „Blauer Engel“ für schadstoffarme Lacke, RAL-UZ 12a:  $\leq 10\%$ ). Glykolverbindungen verdunsten aufgrund ihrer meist gegenüber konventionellen Lösemitteln höheren Siedepunkte verhältnismässig langsam. Zusätzlich können Glykolverbindungen über lange Zeiträume von Monaten und Jahren hinweg aus Oberflächen ausgasen und stellen somit eine potentielle Langzeitquelle für Emissionen dar. Glykole finden als Hilfsmittel für die zeitliche Steuerung der Filmbildung und zur Vermeidung von Rissbildung in wasserbasierten Lacken Verwendung. Diese und andere Eigenschaften haben zu einer weitgehenden Substitution der klassischen Lösemittel wie Toluol oder Testbenzin durch Glykolverbindungen geführt. Aufgrund der niedrigen Geschwindigkeit, mit der Glykole verdampfen, liegen die Raumluftkonzentrationen bei der Applikation niedriger als bei Verwendung von Lacken mit konventionellen Lösemitteln. Langfristig besteht ein höheres Emissionspotential aufgrund höherer Siedepunkte der Glykolverbindungen.

### UV-härtende Lacksysteme

In den vergangenen Jahren haben UV-härtende und lösungsmittelfreie Lacksysteme erheblich an Bedeutung gewonnen. Doch selbst bei Abwesenheit von Lösungsmitteln in Lacksystemen können VOC-Emissionen aus gehärteten Lackoberflächen auftreten. Vor allem UV-härtende Lackformulierungen beinhalten neue emissionsrelevante Verbindungen. Die erforderlichen Photoinitiatoren und Sensibilisatoren zur Energieübertragung der einfallenden Strahlungsenergie und Initiierung der Aushärtungsreaktion können mögliche Emissionen hervorrufen. Während der UV-Einstrahlung können durch Spaltung von Photoinitiatoren unterschiedliche VOC-Reaktionsprodukte gebildet werden, die aus den ausgehärteten Oberflächen ausgasen (Webster 1997). Salthammer et al. (2002) belegen, dass aus gehärteten Oberflächen UV-härtender Acrylat-Formulierungen Photoinitiatoren und Acrylatmonomere sowie deren Fragmente freigesetzt werden können. Hauptsächlich Benzaldehyd, Cyclohexanon und Benzophenon konnten detektiert werden. Dabei konnte auch gezeigt werden, dass eine vollständige Aushärtung der Beschichtung die Emissionsraten vor allem von nicht reagierten Photoinitiatoren erheblich verringert. Überschüssige Mengen an Photoinitiator fördern die erhöhte Emission auch von Initiatorfragmenten und Monomeren (Davidson et al. 1998). Freigesetzte Aldehyde (z.B. das beschriebene Benzaldehyd) sind in der Regel sehr geruchsintensiv. Bei empfindlichen Personen oder bei hohen Raumluftkonzentration kann das Einatmen von Aldehyden Übelkeit auslösen. Freie Acrylat-Monomere können ebenso gesundheitliche Probleme erzeugen, da sie Reizungen der Augen und Schleimhäute hervorrufen können.

Ein weiterer Grund für Emissionen aus Möbeloberflächen UV-gehärteter Systeme ist der Einfluss von natürlicher UV-Strahlung im Lebenszeitraum der Möbel. Dabei beruht die eigentliche Ursache der Emission in einem zu hohen Photoinitiator-Anteil an der Systemformulierung. Salthammer et al. (2002) beschreiben eine deutliche Erhöhung der Emission von Benzaldehyd und Cyclohexanon bei UV-Bestrahlung der bereits gehärteten Oberflächen (Benzaldehyd und Cyclohexanon sind Reaktionsprodukte des eingesetzten Photoinitiators HCPK, 1-Hydroxycyclohexylphenon). Die Erhöhung der Emissionen wird mit einer nachträglichen Reaktion von überschüssigem, während der eigentlichen Aushärtung nicht reagierten Photoinitiatoranteil erklärt.

## Prüfung und Entwicklung emissionsarmer Lackoberflächen an der Berner Fachhochschule

An der Berner Fachhochschule, Architektur, Holz und Bau (BFH-AHB) wird in der Abteilung Forschung und Entwicklung in Biel zusammen mit Industriepartnern intensiv an der Entwicklung emissionsarmer Lackoberflächen gearbeitet. Dabei wird nicht nur die Systemformulierung der Lacksysteme, sondern die umfassende Aufklärung aller Faktoren in der industriellen Produktionskette berücksichtigt, die eine Relevanz für die Emissionen der ausgehärteten Oberflächen besitzen (Abbildung 4).

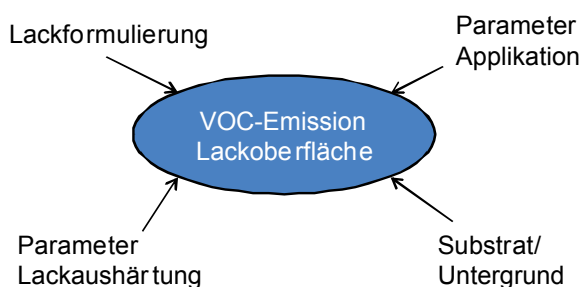


Abbildung 4: Hauptfaktoren für Beschaffenheit und Höhe von VOC-Emissionen ausgehärteter Lackoberflächen

Nur mit einer gesamtheitlichen Betrachtung und Berücksichtigung aller relevanten Faktoren können möglichst emissionsarme Lackoberflächen realisiert werden. Ein wichtiger Punkt ist die Untersuchung der Lackformulierung in Hinblick auf die Emission der ausgehärteten Oberflächen. Dadurch können detaillierte Informationen über den Einfluss einzelner Systemkomponenten auf die resultierende VOC-Emission gewonnen werden. Unter Berücksichtigung unterschiedlicher Mengenverhältnisse der einzelnen Komponenten können bereits bei der Systemformulierung Lösungswege für besonders emissionsarme ausgehärtete Lackoberflächen entwickelt werden. Auch der Einfluss der Applikationsparameter auf die VOC-Emissionen wird berücksichtigt. Hierbei werden Produktionsmuster aus der industriellen Produktion mit unterschiedlichen Applikationsparametern in Emissionsprüfkammern untersucht. In einem weiteren Schritt werden die Parameter der Lackaushärtung geklärt. Je nach Lacksystem werden die unterschiedliche Trocknungs-/Aushärtungstechnologien berücksichtigt (Konvektionstrocknung, UV-Härtung, etc.). Dadurch wird der Einfluss dieser Prozessparameter auf die resultierenden Emissionen der fertig produzierten Oberflächen geklärt. Zusätzlich wird der Einfluss des Substrates (z.B. Holzwerkstoffplatte) auf die resultierende Emission des Gesamtproduktes berücksichtigt. Auch wenn Lackoberflächen eine gewisse Sperrwirkung auf die Emissionen des Substrates ausüben, emittieren ausgehärtete Lackoberflächen auch VOC des darunter

befindlichen Untergrundes.

Auf Basis der gewonnen Ergebnisse wird eine umfassende Strategie für die industrielle Produktion eines bestimmten Produktes entwickelt, die Ausgangsmaterialien, Lackformulierungen, Applikations- und Aushärtungsparameter umfasst. Damit wird die Umsetzung der Ergebnisse und die langfristige Sicherstellung einer Produktion emissionsarmer Bauprodukte im Industriebetrieb ermöglicht.

## Zusammenfassung

Die Konzentration flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) zählt zu den wichtigsten Parametern bei der gesundheitlichen Beurteilung der Raumlufteigenschaften. Aufgrund dichter Gebäudehüllen hat sich die Luftwechselrate in Gebäuden in den vergangenen Jahren deutlich reduziert. Dadurch kommt den Emissionen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen im Innenraum eine besondere Bedeutung zu. Mittlerweile hat sich die Emissionsprüfung von Bauprodukten nach Norm ISO 16000-9 in Emissionsprüfkammern international etabliert und ist in mehreren europäischen Ländern bereits in das Zulassungsverfahren für Bauprodukte integriert. Ergebnisse von Emissionskammerprüfungen dienen auch als Grundlage für die Vergabe von Zertifikaten für besonders emissionsarme Produkte. Auch ausgehärtete lackierte Oberflächen von z.B. Holzfußböden, Möbeln, Türen, Fenstern oder Deckenpaneelen geben Emissionen in die Raumluft ab. Die Höhe und Beschaffenheit der VOC-Emissionen dieser Lackoberflächen hängt dabei vor allem von der Lackformulierung, dem Härtingsverfahren, den Applikationsparametern und auch vom Untergrund, d.h. dem Trägerwerkstoff ab. Nicht nur herkömmliche lösemittelhaltige Lacksysteme, sondern auch wasserbasierte oder lösemittelfreie Systeme können VOC aus ausgehärteten Lackoberflächen abgeben. Die Herstellung von Produkten mit emissionsarmen Lackoberflächen eröffnet Unternehmen Perspektiven zur Umsatzsteigerung, da emissionsarme Produkte allgemein zunehmend vom Markt nachgefragt werden.

## Literatur

AgBB (2010): Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC und SVOC) aus Bauprodukten. Ausschuss zur gesundheitlichen Beurteilung von Bauprodukten, [http://www.umweltbundesamt.de/bauprodukte/dokumente/AgBB-Bewertungsschema\\_2010.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/bauprodukte/dokumente/AgBB-Bewertungsschema_2010.pdf)

Brown, S.K. (2000): Volatile organic pollutant emissions from building materials. Impacts on indoor air quality. PhD Thesis. Royal Melbourne Institute of Technology University, Melbourne, Australia.

Davidson, R.S., Hagemann, H.J., Lewis S.P. (1998), J. Photochem. Photobiol. A 118

Dürkop, J., Horn, W., Englert, N., Plehn, W. (2007): BAUPRODUKTE: Schadstoffe und Gerüche bestimmen und vermeiden. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin. 100 S.

Fischer, M. und Böhm, E. (1994): Erkennung und Bewertung von Schadstoff-Emissionen aus Möbellacken, Reihe Schadstoffe und Umwelt, Band 12, Berlin, Erich Schmidt, Verlag

Horn, W., Jann, O., Kasche, J., Bitter, F., Müller, D. (2007): Umwelt- und Gesundheitsanforderungen an Bauprodukte – Ermittlung und Bewertung der VOC-Emissionen und gesundheitlichen Belastungen. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin. 151 S.

ISO EN 16000-6: Innenraumluftverunreinigungen - Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern – Probe-nahme auf Tenax TA, thermische Desorption und Gaschroma-tographie/MSD bzw. FID

ISO EN 16000-9: Innenraumluftverunreinigungen - Bestimmung der Emissionen von flüchtigen organischen Verbindungen aus Bauprodukten und Einrichtungsgegenständen – Emissionsprüf-kammer-Verfahren

Moriske, H.-J. (2007): Schimmel, Fogging und weitere Innen-raumprobleme. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 200 S.

Salthammer, T. und Marutzky, R. (1995a): Kammervverfahren zur Bestimmung der Emissionen organischer Substanzen aus Materialien. Bagda, E. (ed.) Emissionen aus Beschichtungen und deren Einfluß auf die Innenraumluft, Renningen, Expert-Verlag, 75-94

Salthammer, T. und Marutzky, R. (1995b): Emissionen organi-scher Verbindungen aus Möbeloberflächen, Holz-Zentralblatt, Nr. 144/95, 2405 aund Nr. 6/96, 57-58

Salthammer, T. (1997): Emission of Volatile Organic Com-pounds from Furniture Coatings. Indoor Air 7, 189-197

Salthammer, T., Bednarek, M., Furhmann, F., Funaki, R., Ta-nabe, S.-I. (2002): Formation of organic indoor air pollutants by UV-curing chemistry. Journal of Photochemistry and Photobio-logy A: Chemistry 125, 1-9Davidson, R.S., Hagemann, H.J., Lewis S.P. (1998), J. Photochem. Photobiol. A 118

Salthammer, T., Uhde, E. (eds.): Organic Indoor Air pollutants Occurrence, Measurement, Evaluation 2009 Wiley-VCH Wein-heim

WHO – Indoor Air Quality: Organic pollutants. EURO Reports and Studies No. 111. World Health Organisation, 1989. pp. 2-39

Webster, G. (1997) Chemistry and Technology of UV and EB Formulation for Coatings, Inks and Paints, Vol II: Prepolymers and Reactive Diluents, Wiley, Chichester, 1997